

Reflection type demagnification projection optical system and exposure apparatus using the same

Patent Number: ☐ US2003063375
Publication date: 2003-04-03
Inventor(s): SUZUKI MASAYUKI (JP); TERASAWA CHIAKI (JP)
Applicant(s):
Requested Patent: ☐ JP2003045782
Application Number: US20020207938 20020729
Priority Number(s): JP20010230957 20010731
IPC Classification: G02B5/08
EC Classification: G02B17/06, G03F7/20T14, G03F7/20T16
Equivalents:

Abstract

A reflection type demagnification projection optical system that uses light of light with a wavelength of 200 nm or less includes six light-reflecting mirrors arranged from an object side to an image side such that said mirrors basically form a coaxial system, wherein a third mirror in said six mirrors is located at a pupil position of said optical system

Data supplied from the esp@cenet database - I2

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2003-45782
(P2003-45782A)

(43) 公開日 平成15年2月14日 (2003.2.14)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テ-マ-ト*(参考)
H 0 1 L 21/027		G 0 2 B 5/10	A 2 H 0 4 2
G 0 2 B 5/10			C 2 H 0 5 2
		13/18	2 H 0 8 7
13/18		17/06	2 H 0 9 7
17/06		19/00	5 F 0 4 6

審査請求 有 請求項の数15 O L (全 11 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2001-230957(P2001-230957)

(22) 出願日 平成13年7月31日 (2001.7.31)

(71) 出願人 000001007

キヤノン株式会社
東京都大田区下丸子3丁目30番2号

(72) 発明者 鈴木 雅之

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤ
ノン株式会社内

(72) 発明者 寺沢 千明

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤ
ノン株式会社内

(74) 代理人 100110412

弁理士 藤元 亮輔

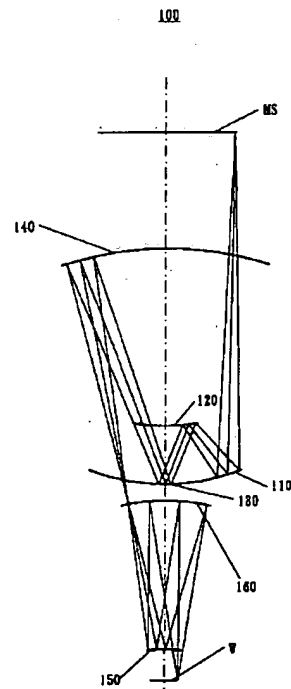
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 反射型縮小投影光学系及びそれを用いた露光装置

(57) 【要約】

【課題】 本発明は、EUVリソグラフィーに適用可能な高NAと結像性能のバランスに優れた6枚ミラー系の反射型縮小投影光学系及びそれを用いた露光装置を提供する。

【解決手段】 本発明の一側面としての反射型縮小投影光学系は、波長200nm以下の光を用いて物体面上のパターンを像面上に縮小投影する反射型縮小投影光学系であって、物体側から像側にかけて順次光を反射するとともに基本的に共軸系をなすように配置された6枚の鏡を有し、当該6枚の鏡のうち3番目に前記光を反射する鏡は当該光学系の瞳位置にある。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 波長200nm以下の光を用いて物体面上のパターンを像面上に縮小投影する反射型縮小投影光学系であって、

物体側から像側にかけて順次光を反射するとともに基本的に共軸系をなすように配置された6枚の鏡を有し、当該6枚の鏡のうち3番目に前記光を反射する鏡は当該光学系の瞳位置にある反射型縮小投影光学系。

【請求項2】 波長200nm以下の光を用いて物体面上のパターンを像面上に縮小投影する反射型縮小投影光学系であって、

物体側から像側にかけて順次光を反射するとともに基本的に共軸系をなすように配置された6枚の鏡を有し、前記物体面からの主光線の当該物体面に垂直な方向に対する傾きが7.3度未満である反射型縮小投影光学系。

【請求項3】 前記傾きが6度以下である請求項2記載の反射型縮小投影光学系。

【請求項4】 前記傾きが3度以下である請求項3記載の反射型縮小投影光学系。

【請求項5】 前記6枚の鏡のうち3番目に前記光を反射する鏡は光学系の瞳位置にある請求項2記載の反射型縮小投影光学系。

【請求項6】 前記瞳は開口絞り部分に位置する請求項1又は5記載の反射型縮小投影光学系。

【請求項7】 前記6枚の鏡は、物体側から像側にかけて順に凹面鏡、凸面鏡、凸面鏡、凹面鏡、凸面鏡、凹面鏡である請求項1又は2記載の反射型縮小投影光学系。

【請求項8】 前記反射型縮小投影光学系は前記6枚の鏡のうち4番目と5番目に前記光を反射する鏡の間で中間像を結像する請求項1又は2記載の反射型縮小投影光学系。

【請求項9】 前記6枚の鏡のうち少なくとも一枚は多層膜を有する非球面ミラーである請求項1又は2記載の反射縮小投影光学系。

【請求項10】 前記6枚の鏡は全て多層膜を有する非球面ミラーである請求項1又は2記載の反射縮小投影光学系。

【請求項11】 前記光源からの光は波長20nm以下の極紫外線である請求項1又は2記載の反射縮小投影光学系。

【請求項12】 前記反射型縮小投影光学系は前記物体面に供給した反射型マスク又は反射型レチクルのパターンを投影する請求項1又は2記載の反射型縮小投影光学系。

【請求項13】 前記反射型縮小投影光学系は前記物体面に供給した透過型マスク又は透過型レチクルのパターンを投影する請求項1又は2記載の反射型縮小投影光学系。

【請求項14】 請求項1乃至13のうちいずれか一項記載の投影光学系と、

前記投影光学系の円弧状の視野に対応する円弧状の極紫外線によりマスク又はレチクルを照明する照明光学系とを有する露光装置。

【請求項15】 請求項14記載の露光装置を用いて基板を露光する工程と、

前記露光された基板に所定のプロセスを行う工程とを有するデバイス製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、一般には、露光装置に関し、特に、極端紫外(EUV: extreme ultraviolet)光を利用した半導体ウェハ用の単結晶基板、液晶ディスプレイ(LCD)用のガラス基板などの被処理体を投影露光する反射型縮小投影光学系、露光装置及びデバイス製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】近年の電子機器の小型化及び薄型化の要請から、電子機器に搭載される半導体素子の微細化への要求はますます高くなっている。例えば、マスクパターンに対するデザインルールはライン・アンド・スペース(L&S)0.1μm以下の寸法像を広範囲に形成することが要求され、今後は更に80nm以下の回路パターン形成に移行することが予想される。L&Sは露光においてラインとスペースの幅が等しい状態でウェハ上に投影された像であり、露光の解像度を示す尺度である。

【0003】半導体製造用の代表的な露光装置である投影露光装置は、(本出願では交換可能に使用する)マスク又はレチクル上に描画されたパターンをウェハ上に投影露光する投影光学系を備えている。投影露光装置の解像度(正確に転写できる最小寸法)Rは、光源の波長λと投影光学系の開口数(NA)を用いて次式で与えられる。

【0004】

【数1】

$$R = k_1 \times \frac{\lambda}{NA}$$

【0005】従って、波長を短くすればするほど、及び、NAを上げれば上げるほど、解像度は良くなる。近年では解像度はより小さい値を要求されNAを上げるだけではこの要求を満足するには限界となっており、短波長化により解像度の向上を見込んでいる。現在では、露光光源はKrFエキシマレーザ(波長約248nm)及びArFエキシマレーザ(波長約193nm)からF₂エキシマレーザ(波長約157nm)に移行しており、更にはEUV(extreme ultraviolet)光の実用化も進んでいる。

【0006】しかし、光の短波長化が進むと光が透過する硝材に限られてしまうために屈折素子、即ち、レンズを多用することは難しく、投影光学系に反射素子、即ち、ミラーを含めることが有利になる。さらに、露光光がEUV光になると使用できる硝材は存在しなくなり、投影光学系にレンズを含めることは不可能となる。そこで、投影光学系をミラーのみで構成する反射型縮小投影光学系が提案されている。

【0007】反射型縮小投影光学系においては、ミラーにおける反射率を高めるために反射した光が強め合うようミラーには多層膜が形成されているが、光学系全体での反射率を高めるためにできるだけ少ない枚数で構成することが望ましい。また、マスクとウェハの機械的な干渉を防止するため、マスクとウェハが瞳を介して反対側に位置するよう投影光学系を構成するミラーの枚数は偶数枚であることが望ましい。更に、EUV露光装置に要求される線幅（解像度）が従来より小さくなってきたためNAをあげる必要があるが（例えば、波長13.5nmにおいてNA0.2）、従来の3乃至4枚のミラーでは波面収差を減らすことが困難である。そこで、波面収差補正の自由度を増やすためにもミラーを非球面にすると共にミラーの枚数を増やす必要があり、これに伴い投影光学系を構成するミラーの数を6枚程度にする必要が生じてきた（なお、本明細書では、かかる光学系を6枚ミラー系と称する）。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】しかし、従来の6枚ミラー系の反射型投影光学系はEUV光において高NAと結像性能とをバランスよく両立させることができず、これにより解像力などの露光性能よく高品位なデバイスを提供できないという問題があった。

【0009】例えば、USP5686728においては非球面ミラーを6枚使った実施例が開示されている。この発明はEUV投影系のもつ波長が短いことによる欠点を挙げて、EUV光よりも波長の長い126nm、146nm、157nm、172nm、193nmといった100nm乃至300nmの波長範囲で有効な光学系について記述している。しかし、この光学系は使用波長がEUV光よりも一桁大きいため、もしこの光学系をEUVで使用するならば波長を単位とした波面収差が1桁程度大きくなってしまふ。よって、かかる発明そのままで良好な結像性能を得ることができず、EUV光に適用することは困難である。また、USP5815310や特開2000-235144号公報等にはEUV光にも使える高NA（例えば、NA0.15乃至0.25）の6枚ミラー系も開示されているが、6枚ミラー系のうちいずれかのミラーと光線とが干渉（ケラレ）してしまう恐れがあり、必ずしも結像性能が良いとはいえない。

【0010】更に、従来のミラーより構成される投影光学系は、物体側が非テレセントリックであり、マスク又

はレチクル（物体面）に入出射する光束の主光線の物体面の法線に対する傾きが大きく、走査露光動作においてマスク又はレチクル（物体面）とウェハ（像面）との光軸方向の相対位置にずれが生じた場合、ウェハでの結像倍率が変化してしまい結像性能を劣化させてしまうという問題を有している。

【0011】

【課題を解決するための手段】そこで、本発明は、EUVリソグラフィーに適用可能な高NAと結像性能のバランスに優れた6枚ミラー系の反射型縮小投影光学系及びそれをを用いた露光装置を提供することを例示的目的とする。

【0012】上記目的を達成するために、本発明の一側面としての反射型縮小投影光学系は、波長200nm以下の光を用いて物体面上のパターンを像面上に縮小投影する反射型縮小投影光学系であって、物体側から像側にかけて順次光を反射するとともに基本的に共軸系をなすように配置された6枚の鏡を有し、当該6枚の鏡のうち3番目に前記光を反射する鏡は当該光学系の瞳位置にある。かかる反射型縮小投影光学系によれば、6枚ミラー系とすることでNAを大きくすることができ、3番目の鏡が瞳位置にあるのでケラレが起こりにくくすることができる。また、本発明の光学系は3番目の鏡が瞳位置にあるため、物体面からの主光線の傾きを小さくすることができる。これにより、本発明の反射型投影縮小光学系は、物体面が光軸方向に移動しても像の大きさの変化が小さく、また光線と鏡との干渉を防止することができるので結像性能に優れた高NAの光学系を達成することができる。

【0013】更に、本発明の別の側面としての反射型縮小投影光学系は、波長200nm以下の光を用いて物体面上のパターンを像面上に縮小投影する反射型縮小投影光学系であって、物体側から像側にかけて順次光を反射するとともに基本的に共軸系をなすように配置された6枚の鏡を有し、前記物体面からの主光線の当該物体面に垂直な方向に対する傾きが7.3度未満である。かかる反射型縮小投影光学系によれば、物体面からの主光線の傾きが7.3度未満、即ち、物体側で略テレセントリックな光学系であり、物体面が光軸方向に移動しても像の大きさの変化が小さい。また、かかる光学系は6枚ミラー系であり、上述の反射型縮小投影光学系と同様、高NAを達成可能である。これにより、本発明の反射型投影縮小光学系は、結像倍率の変化が少ないので結像性能に優れた高NAの光学系を達成することができる。なお、かかる光学系において前記傾きは好ましくは6度以下、さらに言うのであれば3度以下であることが好ましい。前記6枚の鏡のうち3番目に前記光を反射する鏡は光学系の瞳位置にあり、上述した反射型縮小投影光学系と同様の作用を奏する。

【0014】なお、上述した反射型縮小投影光学系にお

いて、前記瞳は開口絞り部分に位置する。また、上述した反射型縮小投影光学系において、前記6枚の鏡は、物体側から像側に掛けて順に凹面鏡、凸面鏡、凸面鏡、凹面鏡、凸面鏡、凹面鏡である。かかるパワー配置は上述の光学系において好ましいという長所を有する。前記反射型縮小投影光学系は前記6枚の鏡のうち4番目と5番目に前記光を反射する鏡の間で中間像を結像する。これにより、かかる光学系はバランスのとれた良好な収差補正を可能とする。また、前記6枚の鏡のうち少なくとも一枚は多層膜を有する非球面ミラーであり、収差補正をするうえで好ましいという長所を有する。なお、前記6枚の鏡は全て多層膜を有する非球面ミラーであることが好ましい。また、前記光源からの光は波長20nm以下の極紫外線であり、短波長において好適な光学系である。更に、前記反射型縮小投影光学系は前記物体面に供給した反射型マスク又は反射型レチクル、又は、透過型マスク又は透過型レチクルのパターンを投影する。本発明の反射型縮小投影光学系は、反射型又は透過型どちらのマスク又はレチクルであっても適用することができる。

【0015】更に、本発明の別の側面としての露光装置は、上述したいずれか記載の投影光学系と、前記投影光学系の円弧状の視野に対応する円弧状の極紫外線によりマスク又はレチクルを照明する照明光学系とを有する。かかる露光装置によれば、上述した投影光学系を有し、解像度などの露光性能がよい。

【0016】更に、本発明の別の側面としてのデバイス製造方法は、かかる露光装置を用いて基板を露光する工程と、前記露光された基板に所定のプロセスを行う工程とを有する。上述の露光装置の作用と同様の作用を奏するデバイス製造方法の請求項は、中間及び最終結果物であるデバイス自体にもその効力が及ぶ。また、かかるデバイスは、例えば、LSIやVLSIなどの半導体チップ、CCD、LCD、磁気センサー、薄膜磁気ヘッドなどを含む。

【0017】本発明の他の目的及び更なる特徴は以下添付図面を参照して説明される好ましい実施例によって明らかにされるであろう。

【0018】

【発明の実施の形態】以下、添付図面を参照して、本発明の一側面としての反射型縮小投影光学系100及び露光装置200について説明する。なお、各図において同一の参照符号は同一部材を表している。ここで、図1は、本発明の一側面としての反射型縮小投影光学系100の例示的一形態及びその光路を示した概略断面図である。また、図2は、図1に示す反射型縮小投影光学系100の別の形態を示した反射型縮小投影光学系100a及びその光路を示す概略断面図である。図3は、図1に示す反射型縮小投影光学系100を有する露光装置200を示す概略構成図である。なお、以下の説明において

特に断らない限り、反射型投影縮小光学系100は、反射型縮小投影光学系100aを総括するものとする。

【0019】図1を参照するに、本発明の反射型縮小投影光学系100（以下、単に投影光学系100）は物体面（MS）上のパターンを像面（W）上に縮小投影する反射型縮小投影光学系であって、特に、EUV光（例えば、波長13.4nm）に好適な光学系である。投影光学系100は6枚のミラーを有し、基本的に、物体面（MS）側から光を反射する順番に、第1のミラー110（凹面鏡）と、第2のミラー120（凸面鏡）と、第3のミラー130（凸面鏡）と、第4のミラー140（凹面鏡）と、第5のミラー150（凸面鏡）と、第6のミラー160（凹面鏡）をと有し、第3のミラー130が開口絞り部分に位置することを特徴としている。本発明の投影光学系100は基本的には共軸系をなすように配置されており、1本の光軸の回りに軸対称な共軸光学系となっている。但し、収差補正上又は調整上、投影光学系100の各ミラー110乃至160が完全に共軸系となるように配置される必要は無く、若干の偏心をさせて収差を改善してもよい。投影光学系100は第1のミラー110乃至第4のミラー140までの4枚のミラーで中間像を結像し、その中間像を第5のミラー150乃至第6のミラー160の2枚のミラーで像面上に再結像するようにミラー110乃至160が構成されている。

【0020】このような構成において、本発明の投影光学系100は6枚ミラー系であり、NAを大きくする上で好ましいという長所を有する。また、投影光学系100は第3のミラーが開口絞り部分に位置するので、物体面（MS）からの主光線の傾きを小さくすることができる。本発明においては、物体面（MS）からの主光線の当該物体面に垂直な方向に対する傾き θ は7.3度未満となり、更に言うのであれば6度以下、更に言うのであれば3度以下であることが好ましい。これにより、投影光学系は物体面（MS）からの主光線の傾きが7.3度未満、即ち、物体側で略テレセントリックな光学系であり、物体面（MS）面が光軸方向に移動しても像の大きさの変化が小さいので、良好な結像を得ることができる。更に、本発明の投影光学系100は像（W）側の射出光線はテレセントリックになっており、像（W）面が光軸方向に移動しても倍率の変化が少ない。即ち、本発明の投影光学系100は両側テレセントリックな光学系であり、結像性能の安定に寄与する。また、本発明の投影光学系100は従来例で問題であった光線とミラーの干渉を生じさせず（また、干渉が起こりにくい配置を可能としているため）、従来例の問題を解決している。

【0021】更に、投影光学系100は共軸系をなすように配置されているため、光軸を中心としたリング状の像面で収差が補正されるため好ましいという長所を有している。投影光学系100は中間像を結像する光学系で

あり、よりバランスのとれた良好な収差補正を可能にしている。投影光学系100のミラータイプは、物体面(MS)からの主光線の傾きを小さくすることができるので、透過型マスク(型抜きマスク)及び反射型マスクの両方に対応可能な光学系となっている。

【0022】ミラー110乃至160は上述したような凸面鏡又は凹面鏡より構成される。なお、本発明において、ミラー110乃至160は上述した凹面鏡と凸面鏡の組み合わせに限定されるものではない。但し、本発明のように第1乃至第4のミラー110乃至140で中間結像し、第5乃至第6のミラー150乃至160で再結像するためには、いくつかのミラーにおいてその形状が定まるものである。まず、第5のミラー150と第6のミラー160は高NAで所定のバックフォーカスを保って結像することが困難になってしまうため、それぞれ凸面鏡と凹面鏡であることが好ましい。また、第1のミラー110は物体面(MS)から出た主光線を反射させ光軸方向に近づけるために凹面鏡であることが好ましい。また、第4のミラー140は第3のミラー130で反射

したEUV光を反射させて光軸方向に上げる必要があり、凹面鏡であることが好ましい。よって、第2のミラー120及び第3のミラー130において凹面鏡又は凸面鏡の自由度が考えられるが、後述するようにベッツパール項の和がゼロ又はゼロ近傍となるようにそのミラー形状を決定する必要がある。

【0023】本発明において、ミラー110乃至160は上述した様のそれぞれ凹面鏡又は凸面鏡より構成され、その反射面が非球面形状を有している。但し、本発明において、ミラー110乃至160は少なくとも一枚以上が非球面であればよい。しかし、ミラーを非球面で構成することは収差を補正する上で好ましいという長所を有しており、できるだけ多くのミラー(好ましくは、6枚)を非球面で構成することがよい。かかるミラー110乃至160において、非球面の形状は数式2に示す一般的な非球面の式で現される。

【0024】

【数2】

$$Z = \frac{ch^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k)^2 h^2}} + Ah^4 + Bh^6 + Ch^8 + Dh^{10} + Eh^{12} + Fh^{14} + Gh^{16} + Hh^{18} + Jh^{20} + \dots$$

【0025】数式2において、Zは光軸方向の座標、cは曲率(曲率半径rの逆数)、hは光軸からの高さ、kは円錐係数、A、B、C、D、E、F、G、H、J・・・は各々、4次、6次、8次、10次、12次、14次、16次、18次、20次、・・・の非球面係数である。

【0026】また、6枚のミラー110乃至160は、光学系の像(W)面を平坦にするためにベッツパール項

$$\frac{1}{r_{110}} - \frac{1}{r_{120}} + \frac{1}{r_{130}} - \frac{1}{r_{140}} + \frac{1}{r_{150}} - \frac{1}{r_{160}} = 0$$

【0028】

$$\frac{1}{r_{110}} - \frac{1}{r_{120}} + \frac{1}{r_{130}} - \frac{1}{r_{140}} + \frac{1}{r_{150}} - \frac{1}{r_{160}} \doteq 0$$

【0029】更に、各ミラー110乃至160の表面にはEUV光を反射させる多層膜が施されており、かかる多層膜により光を強めあう作用を奏する。本発明のミラー110乃至160に適用可能な多層膜は、例えば、モリブデン(Mo)層とシリコン(Si)層をミラー反射面に交互に積層したMo/Si多層膜、又はMo層とベリリウム(Be)層をミラー反射面に交互に積層したMo/Be多層膜などが考えられる。波長13.4nm付近の波長域を用いた場合、Mo/Si多層膜からなるミラーは67.5%の反射率を得ることができ、また、波長11.3nm付近の波長域を用いた場合、Mo/Be多層膜からなるミラーでは70.2%の反射率を得るこ

との和がゼロ近傍、好ましくはゼロになっている。即ち、ミラーの各面の屈折力の和をゼロ近傍にしている。換言すれば、各ミラーの曲率半径を r_{110} 乃至 r_{160} (添え字はミラーの参照番号に対応)とすると、本発明のミラー110乃至160は数式3又は数式4を満たす。

【0027】

【数3】

【数4】

とが出来る。但し、本発明の多層膜は上記した材料に限定されず、これと同様の作用及び効果を有する多層膜の使用を妨げるものではない。

【0030】なお、上述したように第3のミラー130は開口絞り部分に位置している。従って、この第3のミラー130近傍に開口絞りまたは可変開口絞りを配置してNAを制限または可変にしてもよい。絞りを可変とすることで深い焦点深度を得られるなどの長所が得られ、これにより更に像を安定させることができる。

【0031】ここで、本発明の反射型縮小投影光学系100乃至100aを用いた照明実験の結果について説明する。図1乃至図2において、MSは物体面位置に置かれ

た反射型マスク、Wは像面位置に置かれたウェハを示している。反射型縮小投影光学系100乃至100aにおいて、波長13.4nm付近のEUV光を放射する不図示の照明系によりマスクMSが照明され、マスクMSからの反射EUV光が、第1のミラー110（凹面鏡）、第2のミラー120（凸面鏡）、第3のミラー130（凸面鏡）、第4のミラー140（凹面鏡）、第5のミラー150（凸面鏡）、第6のミラー160（凹面鏡）の順に反射し、像面位置に置かれたウェハW上に、マス

クパターンの縮小像を形成している。なお、図1に示す反射型縮小投影光学系100において、 $NA=0.16$ 、縮小倍率は1/5倍、物高=75乃至87.5mm、像高15乃至17.5mmの2.5mm幅の円弧状像面である。ここで、図1の反射型縮小投影光学系100の数値（曲率半径、面間隔、非球面係数など）を表1に示す。

【0032】

【表1】

ミラー番号	曲率半径	面間隔	円錐係数 k	
物体面 (MS)	∞	448.232359	0.0	
ミラー110	-250.42968	-75.473952	0.0	
ミラー120	-207.18578	75.855756	0.0	
ミラー130	432.06676	-300.381804	0.0	
ミラー140	393.30067	511.764288	0.0	
ミラー150	299.73289	-191.882485	0.0	
ミラー160	252.47769	231.385837	0.0	
像面 (W)	∞	-	-	
非球面係数	A	B	C	D
ミラー110	0.314618E-8	-0.363467E-14	0.895139E-17	-0.158309E-20
ミラー120	0.335304E-7	-0.660048E-12	-0.12247E-14	0.782010E-18
ミラー130	-0.148857E-7	-0.248684E-10	0.938394E-13	-0.533048E-18
ミラー140	0.203762E-9	0.659932E-15	0.146377E-18	-0.507832E-23
ミラー150	0.571282E-7	0.271803E-11	0.188478E-14	0.123249E-16
ミラー160	0.685234E-9	0.125414E-13	0.244963E-18	0.117442E-21
-	E	F	G	H
ミラー110	0.173743E-24	-0.103758E-28	0.280626E-33	0.000000E+00
ミラー120	-0.113617E-21	-0.843963E-25	0.291110E-28	0.000000E+00
ミラー130	-0.394621E-23	0.485805E-30	0.570006E-31	0.000000E+00
ミラー140	0.206821E-28	0.542232E-32	-0.127354E-36	0.000000E+00
ミラー150	-0.321848E-19	0.396040E-22	-0.177332E-25	0.000000E+00
ミラー160	-0.774134E-25	0.208380E-28	-0.202169E-32	0.000000E+00

【0033】図1に示す反射型縮小投影光学系100の、製造誤差を含まない収差（像高の数点で計算）は、波面収差=0.005λrms、歪曲=±2nmであり、これは波長13.4nmでのdiffraction limited（回折限界）な光学系である。

【0034】なお、上述したように本発明の反射型縮小

投影光学系100は物体面（MS）からの主光線の傾きθは小さくなっており、以下に示す表2のような値を示す。

【0035】

【表2】

物高mm	主光線角度θ (°)	主光線角度のタンジェント
75.0	1.05	0.0183
87.5	1.02	0.0179

【0036】これにより、本発明の反射型縮小投影光学系100は、物体面（MS）面が光軸方向に移動しても像の大きさの変化が小さいので、良好な結像を得ることが理解される。

【0037】一方、図2に示す反射型縮小投影光学系100aにおいて、 $NA=0.25$ 、縮小倍率は1/5

倍、物高=108乃至116mm、像高21.6乃至23.2mmの1.6mm幅の円弧状像面である。ここで、図2の反射型縮小投影光学系100aの数値（曲率半径、面間隔、非球面係数など）を表3に示す。

【0038】

【表3】

ミラー番号	曲率半径	面間隔	円錐係数 k	
物体面 (MS)	∞	383.187768	-	
ミラー110	-264.16165	-67.483770	-0.235670	
ミラー120	-346.49706	79.358491	-3.012105	
ミラー130	304.06055	-291.791119	16.703453	
ミラー140	390.88999	533.716811	-0.022743	
ミラー150	260.43391	-204.510360	3.951385	
ミラー160	265.64128	248.187943	-0.006641	
像面 (W)	∞	-	-	
非球面係数	A	B	C	D
ミラー110	0.659314E-8	0.713030E-13	0.109746E-16	-0.193751E-20
ミラー120	0.101259E-6	-0.731248E-11	-0.298158E-16	0.259782E-18
ミラー130	-0.240179E-6	-0.178735E-9	0.840949E-11	-0.174832E-12
ミラー140	0.125251E-10	-0.281198E-14	0.182272E-18	-0.501337E-23
ミラー150	0.876743E-7	-0.696971E-12	-0.119131E-14	0.137248E-16
ミラー160	0.7000772E-9	0.135427E-13	-0.214540E-17	0.143191E-20
-	E	F	G	H
ミラー110	0.166111E-24	-0.737842E-29	0.168974E-33	-0.285284E-38
ミラー120	-0.225429E-22	-0.120945E-25	0.414314E-29	-0.636485E-33
ミラー130	0.188081E-14	-0.957507E-17	0.650087E-20	0.133530E-21
ミラー140	0.385780E-28	-0.155596E-33	0.557000E-37	-0.179456E-41
ミラー150	-0.512578E-19	0.106135E-21	-0.124838E-24	0.782238E-28
ミラー160	-0.527674E-24	0.119304E-27	-0.161836E-31	0.120939E-35
-	J			
ミラー110	0.605944E-43			
ミラー120	0.265163E-37			
ミラー130	-0.388827E-24			
ミラー140	0.165325E-46			
ミラー150	-0.203027E-31			
ミラー160	-0.382716E-40			

【0039】図2に示す反射型縮小投影光学系100aの製造誤差を含まない収差（像高の数点で計算）は、波面収差=0.056 λ rms、歪曲=±4nmであり、波長13.4nmでのdiffraction limited（回折限界）な光学系となっている。

【0040】また、反射型縮小投影光学系100aは、

物高mm	主光線角度 θ (°)	主光線角度のタンジェント
108	2.75	0.0481
112	2.83	0.0494
116	2.91	0.0508

【0042】これにより、本発明の反射型縮小投影光学系100aは、物体面（MS）面が光軸方向に移動しても像の大きさの変化が小さいので、良好な結像を得ることが理解される。

【0043】以上のように、本発明の反射型縮小投影光学系100は、EUVの波長で比較的高NAで回折限界の性能を達成し、かつ、ミラーと光線の干渉の恐れのない反射光学系である。また、物体側からの主光線の傾きが小さいので良好な結像性能を得ることができる。

【0044】以下、本発明の反射型縮小投影光学系100を適用した露光装置200を説明する。本発明の露光

反射型縮小投影光学系100と同様物体面（MS）からの主光線の傾き θ は小さくなっており、以下に示す表4のような値を示す。

【0041】

【表4】

装置200は露光用の照明光としてEUV光（例えば、波長13.4nm）を用いる。また、露光装置200の像面は円弧状（リング状）の像面となり、マスクとウェハを縮小倍率比の速度比でスキャンすることにより、マスクの全面を露光する方式をとる。図3を参照するに、露光装置200は、EUV光源210、照明光学系220、反射型レチクル230、アライメント光学系240、投影光学系100、レチクルステージ250、ウェハステージ260、ウェハ270を有する。なお、EUV光は大気に対する透過率が低いので、少なくともEUV光が通る光路は真空雰囲気であることが好ましく、照

明光学系220からウェハステージ260までを真空容器280に収納している。

【0045】本実施形態のEUV光源210は、例えば、レーザープラズマ光源を使用する。レーザープラズマ光源210はターゲット供給装置211によって供給され真空容器280中に置かれたターゲット材213に高強度のパルスレーザー光をパルスレーザー211から集光レンズ214を介して照射し、高温のプラズマ215を発生させる。そして、これから放射される波長13.4 nm程度のEUV光を利用するものである。ターゲット材213は、金属薄膜、不活性ガス、液滴などが用いられ、ガスジェット等のターゲット供給装置212により真空容器内280に供給される。放射されるEUV光の平均強度を高くするためにはパルスレーザー211の繰り返し周波数は高い方が良く、通常数kHzの繰り返し周波数で運転される。あるいは、放電プラズマ光源が用いられる。これは真空容器中280に置かれた電極周辺にガスを放出し、電極にパルス電圧を印加し放電を起こし高温のプラズマを発生させ、これから放射される例えば波長13.4 nm程度のEUV光を利用するものである。

【0046】照明光学系220はEUV光を伝播してマスク又はレチクル（本出願では両者を交換可能に使用する。）230を照明する。図3において、照明光学系220は、第1乃至第3ミラー221、222及び223と、オプティカルインテグレート224と、アパーチャ225とを有する。第1ミラー221はプラズマ215からほぼ等方的に放射されるEUV光を集める。オプティカルインテグレート224はレチクル230を均一に所定の開口数で照明する。また、それらのEUV光は第2乃至第3ミラー222乃至223によってレチクル230へリレーされる。アパーチャ225は照明光学系220のレチクル230と共役な位置に配置され、レチクル230面で照明される領域を円弧状に限定する。

【0047】なお、発光点と光学系の間には図示しないデブリ除去装置を配置しても良く、EUV光が発生する際に同時に生じるデブリはデブリ除去装置によって除去される。

【0048】投影光学系100は、レチクル230側から光を反射する順番に、第1のミラー110（凹面鏡）と、第2のミラー120（凸面鏡）と、第3のミラー130（凸面鏡）と、第4のミラー140（凹面鏡）と、第5のミラー150（凸面鏡）と、第6のミラー160（凹面鏡）をと有し、第3のミラー130が開口絞り部分に位置することを特徴としている。なお、反射型縮小投影光学系100は上述した構成であり、ここでの詳細な説明は省略する。

【0049】レチクルステージ250とウェハステージ260は、縮小倍率に比例した速度比で同期して走査する機構をもつ。ここで、レチクル230又はウェハ27

0面内で走査方向をX、それに垂直な方向をY、レチクル230又はウェハ270面に垂直な方向をZとする。

【0050】レチクル230には所望のパターンが形成され、レチクルステージ250上の図示しないレチクルチャックに保持される。レチクルステージ250はX方向に移動する機構をもつ。また、X方向、Y方向、Z方向、及び各軸の回りの回転方向に微動機構をもち、レチクル230の位置決めができるようになっている。レチクルステージ250の位置と姿勢はレーザ干渉計によって計測され、その結果に基づいて位置と姿勢が制御される。なお、本実施形態ではレチクル230は反射型レチクルとして実現されているが、投影光学系100はレチクル230からの主光線の傾きを小さくすることができ、透過型レチクル又は反射型レチクルのどちらでも適用可能である。

【0051】ウェハ270は、図示しないウェハチャックによってウェハステージ260に保持される。ウェハステージ260はレチクルステージ250と同様にX方向に移動する移動機構をもつ。また、X方向、Y方向、Z方向、及び各軸の回りの回転方向に微動機構をもち、ウェハ270の位置決めができるようになっている。ウェハステージ260の位置と姿勢はレーザ干渉計によって計測され、その結果に基づいて位置と姿勢が制御される。

【0052】アライメント検出光学系240によってレチクル230の位置と投影光学系100の光軸との位置関係、及びウェハ270の位置と投影光学系100の光軸との位置関係が計測され、レチクル230の投影像がウェハ270の所定の位置に一致するようにレチクルステージ250及びウェハステージ260の位置と角度が設定される。また、図示しないフォーカス検出光学系によってウェハ270面でZ方向のフォーカス位置が計測され、ウェハステージ260の位置及び角度を制御することによって、露光中は常時ウェハ面を投影光学系100による結像位置に保つ。

【0053】ウェハ270上で1回のスキャン露光が終わると、ウェハステージ260はX、Y方向にステップ移動して次の走査露光開始位置に移動し、再びレチクルステージ250及びウェハステージ260が投影光学系の縮小倍率に比例した速度比でX方向に同期走査する。

【0054】このようにして、レチクル230の縮小投影像がウェハ270上に結像した状態でそれらを同期走査するという動作が繰り返される。（ステップ・アンド・スキャン）。こうしてウェハ270全面にレチクル230の転写パターンが転写される。

【0055】また、EUV光がガスにより吸収されるのを防止するため、EUV光が照射される光学素子が置かれた空間に残留していた炭素を含む分子を付着させないために、EUV光が伝播する空間や光学素子が置かれた空間は、一定の圧力以下に保たれている必要がある。よ

って、光源や照明光学系220や投影光学系100の光学素子、レチクル230、ウェハ270などは真空容器280に入れられ真空度を満たすように排気される。

【0056】露光において、照明装置220から射出されたEUV光はマスクMSを照明し、マスクMS面上のパターンをレジストを塗布したウェハ等の被処理体W面上に結像する。本実施例において、像面は円弧状（リング状）の像面となり、マスクとウェハを縮小倍率比の速度比でスキャンすることにより、マスクの全面を露光することができる。

【0057】露光装置の光源部は、本実施例のみに限定されない。例えば、光源部はディスチャージ方式の一つであるZピンチ方式、プラズマ・フォーカス、キャピラリー・ディスチャージ、ホロウカソード・トリガードZピンチ等を使用しても良い。

【0058】次に、図4及び図5を参照して、上述の露光装置を利用したデバイスの製造方法の実施例を説明する。図4は、デバイス（ICやLSIなどの半導体チップ、LCD、CCD等）の製造を説明するためのフローチャートである。ここでは、半導体チップの製造を例に説明する。ステップ1（回路設計）ではデバイスの回路設計を行う。ステップ2（マスク製作）では、設計した回路パターンを形成したマスクを製作する。ステップ3（ウェハ製造）ではシリコンなどの材料を用いてウェハを製造する。ステップ4（ウェハプロセス）は前工程と呼ばれ、マスクとウェハを用いてリソグラフィ技術によってウェハ上に実際の回路を形成する。ステップ5（組み立て）は後工程と呼ばれ、ステップ4によって作成されたウェハを用いて半導体チップ化する工程であり、アッセンブリ工程（ダイシング、ボンディング）、パッケージング工程（チップ封入）等の工程を含む。ステップ6（検査）では、ステップ5で作成された半導体デバイスの動作確認テスト、耐久性テストなどの検査を行う。こうした工程を経て半導体デバイスが完成し、これが出荷（ステップ7）される。

【0059】図5は、図4に示すステップ4のウェハプロセスの詳細なフローチャートである。ステップ11（酸化）ではウェハの表面を酸化させる。ステップ12（CVD）では、ウェハの表面に絶縁膜を形成する。ステップ13（電極形成）では、ウェハ上に電極を蒸着などによって形成する。ステップ14（イオン打ち込み）ではウェハにイオンを打ち込む。ステップ15（レジスト処理）ではウェハに感光剤を塗布する。ステップ16（露光）では、露光装置200によってマスクの回路パターンをウェハに露光する。ステップ17（現像）では、露光したウェハを現像する。ステップ18（エッチング）では、現像したレジスト像以外の部分を削り取る。ステップ19（レジスト剥離）では、エッチングが済んで不要となったレジストを取り除く。これらのステップを繰り返し行うことによってウェハ上に多重に回路

パターンが形成される。

【0060】以上、本発明の好ましい実施例について説明したが、本発明はこれらの実施例に限定されないことはいうまでもなく、その要旨の範囲内で種々の変形及び変更が可能である。また、本発明は、例えばArFエキシマレーザーやF2エキシマレーザーなどEUV以外の波長200nm以下の紫外線用の反射型縮小光学系として用いることもでき、大画面をスキャン露光する露光装置にもスキャンしない露光をする露光装置適用可能である。

【0061】

【発明の効果】本発明の反射型縮小投影光学系及び露光装置によれば、6枚ミラー系とすることでNAを大きくすることができ、3番目の鏡が瞳位置（開口絞り部分に位置）にあるので物体面からの主光線の傾きを小さくすることができる。また、かかる光学系によれば、光線と鏡との干渉、即ち、ケラレが起こりにくい配置とすることができる。これにより、本発明の反射型投影縮小光学系は、物体面が光軸方向に移動しても像の大きさの変化が小さいとともに、また光線と鏡との干渉を防止することができるので結像性能に優れた高NAの光学系を達成することができる。よって、かかる反射型縮小投影光学系を適用した露光装置は、高品位なデバイスをスループットなどの露光性能良く提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の一側面としての反射型縮小投影光学系の例示的一形態及びその光路を示した概略断面図である。

【図2】 図1に示す反射型縮小投影光学系の別の形態を示した反射型縮小投影光学系及びその光路を示す概略断面図である。

【図3】 図1に示す反射型縮小投影光学系を有する露光装置を示す概略構成図である。

【図4】 デバイス（ICやLSIなどの半導体チップ、LCD、CCD等）の製造を説明するためのフローチャートである。

【図5】 図4に示すステップ4のウェハプロセスの詳細なフローチャートである。

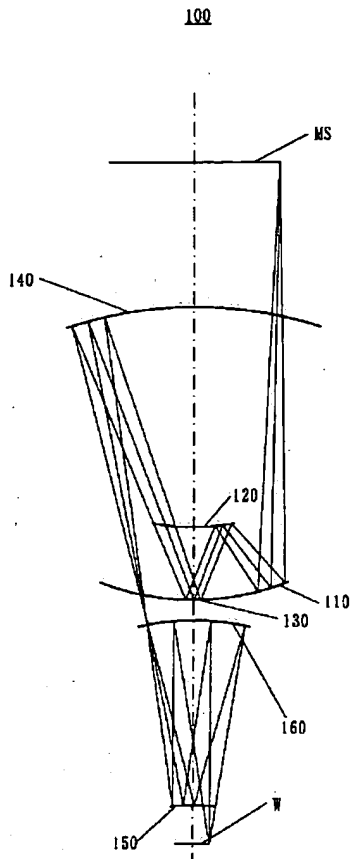
【符号の説明】

100	反射型縮小投影光学系
110	第1のミラー
120	第2のミラー
130	第3のミラー
140	第4のミラー
150	第5のミラー
160	第6のミラー
200	露光装置
210	EUV光源
220	照明光学系
230	レチクル（マスク）

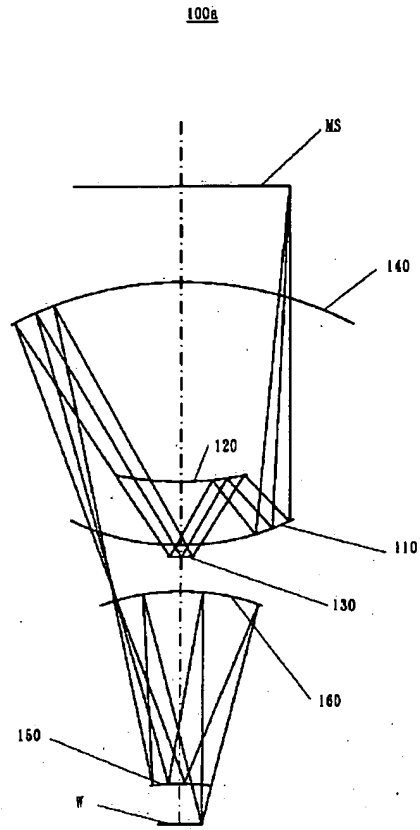
240 アライメント光学系
250 レチクルステージ
260 ウェハステージ

270 ウェハ
280 真空容器

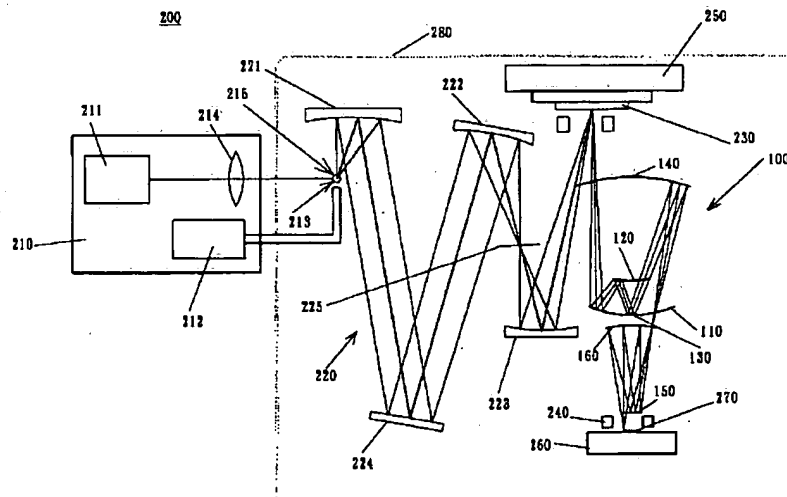
【図1】



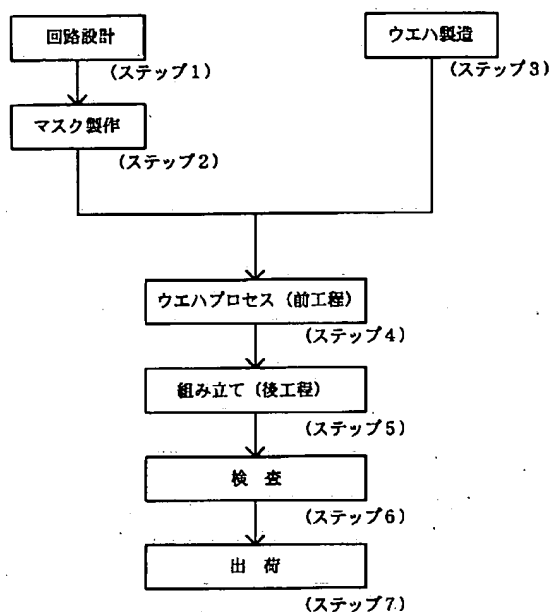
【図2】



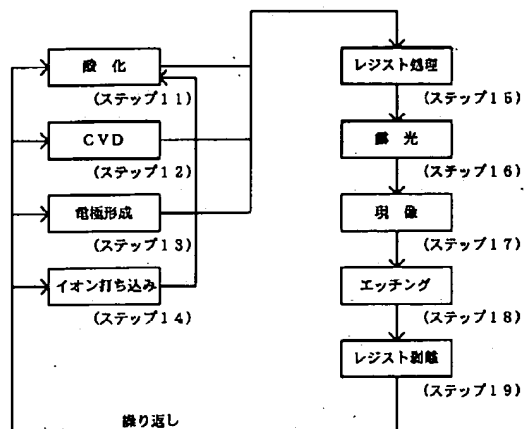
【図3】



【図4】



【図5】



フロントページの続き

(51)Int. Cl.⁷

識別記号

FI

キーワード (参考)

G 0 2 B 19/00

G 0 3 F 7/20

5 0 3

G 0 3 F 7/20

5 0 3

H 0 1 L 21/30

5 1 5 D

5 1 7

5 3 1 A

Fターム(参考) 2H042 DA01 DB02 DD09 DE00

2H052 BA03 BA09 BA12

2H087 KA21 NA04 RA05 RA32 TA01

TA02 TA06

2H097 CA15 GB01 LA10 LA12

5F046 BA05 CB02 CB25